

KAJIAN MUATAN SEDIMEN TERSUSPENSI DI SUNGAI CODE DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

Rutsasongko Juniar Manuhana

rutsasongko@gmail.com

Suprpto Dibyosaputro

praptodibyo@gmail.com

Abstract

Rivers are media for sediment transport processes. One of the processes of sediment transport mechanisms is by suspended sediment load. Factors that influence of total suspended sediment loads are flow discharge and precipitation. Research was conducted in Code River to analyze the correlation between flow discharge with suspended sediment discharge, analyze the relation between rainfall with suspended sediment discharge, and analyze the amount of total suspended sediment loads yearly. The methods used in this research were field survey and measurement the river water level and flow discharge, also sampling for suspended sediment. The results of water level and flow discharge measurements are used to create rating curve, whereas the suspended sediment samples are analyze in laboratory to identify concentration of suspended sediment. The results show that 1) Flow discharge and suspended sediment discharge has a strong correlation, but low influence. 2) The relation between rainfall and suspended sediment load in Code River is low. 3) Total suspended sediment load in Code River yearly reach 1500,49 tons/year.

Keyword : Rainfall, Flow discharge, Suspended sediment discharge, Suspended sediment, River

Intisari

Sungai merupakan tempat berlangsungnya proses transportasi sedimen. Salah satu mekanisme proses transportasi sedimen adalah dengan cara melayang berupa muatan suspensi. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya muatan suspensi diantaranya adalah debit aliran dan curah hujan. Penelitian dilakukan di Sungai Code dengan tujuan menganalisis hubungan antara debit aliran dengan debit suspensi, menganalisis hubungan antara curah hujan dengan debit suspensi dan menganalisis jumlah total muatan suspensi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survey dan pengukuran di lapangan berupa pengukuran tinggi muka air sungai, debit aliran, dan pengambilan sampel suspensi. Hasil pengukuran tinggi muka air dan debit digunakan untuk membuat *rating curve*, sedangkan sampel suspensi dianalisis di laboratorium untuk diketahui kadar suspensinya. Hasil penelitian menunjukkan 1) Hubungan antara debit aliran dengan debit suspensi memiliki korelasi yang kuat, namun tidak memiliki pengaruh yang besar. 2) Curah hujan tidak mempengaruhi secara langsung besarnya debit suspensi. 3) Jumlah total muatan suspensi Sungai Code mencapai 1500,49 ton/tahun.

Kata Kunci : Curah hujan, Debit aliran, Debit suspensi, Sedimen suspensi, Sungai

PENDAHULUAN

Sungai adalah suatu bentukan alami di permukaan bumi yang terbentuk dari hasil akumulasi aliran air yang membentuk saluran terbuka dan mengalir dari tempat yang tinggi menuju ke tempat yang lebih rendah, serta dari daratan menuju ke lautan (Leopold *et al.*, 1964). Sungai memiliki fungsi sebagai media berlangsungnya proses geomorfologi, baik berupa erosi, transportasi dan sedimentasi.

Salah satu proses yang terjadi melalui sungai adalah proses transportasi sedimen. Sedimen dapat mengalami transportasi melalui tiga mekanisme, yaitu sebagai muatan sedimen terlarut, muatan sedimen melayang dan muatan sedimen dasar (Soewarno, 1991). Muatan sedimen yang bergerak secara melayang disebut pula muatan sedimen suspensi.

Debit aliran merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya muatan sedimen suspensi dalam dalam suatu aliran (Prajoto, 2013; Hati, 2014). Semakin besar debit aliran, maka semakin banyak pula sedimen suspensi yang akan terangkut sehingga debit suspensi akan semakin besar pula.

Sungai Code sebagai sungai dengan hulu pada gunungapi aktif, memiliki banyak material endapan hasil letusan Gunungapi Merapi. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi mencatat bahwa material hasil erupsi terakhir tahun 2010 mencapai 150 juta m³. 35% diantaranya masuk ke Sungai Gendol, sedangkan sisanya tersebar di 11 sungai lain, termasuk Sungai Code.

Tingginya curah hujan di Indonesia yang mengguyur endapan piroklastik pada lereng gunungapi aktif menyebabkan terjadinya aliran banjir lahar di sungai sepanjang lereng *Fluviiovulkanik* (Verstappen, 2013). Banjir lahar yang

terjadi di Sungai Code membawa sedimen yang sumbernya berasal dari material endapan piroklastik yang diendapkan di hulu.

Keberadaan sabo dam untuk mengendalikan jumlah sedimen menyebabkan pasokan sedimen ke arah hilir sungai menjadi terganggu. Hal ini karena muatan sedimen banyak yang tertahan dan terhenti di kantong sabo karena tidak dapat melewatinya. Akan tetapi, walaupun banyak sedimen yang tertahan di kantong sabo, keberadaan material endapan hasil erupsi dalam jumlah yang besar serta tingginya curah hujan yang terjadi menyebabkan proses transportasi sedimen tetap berjalan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara debit aliran dengan debit suspensi Sungai Code, menganalisis hubungan curah hujan dengan debit suspensi, serta mengetahui jumlah total muatan sedimen suspensi Sungai Code.

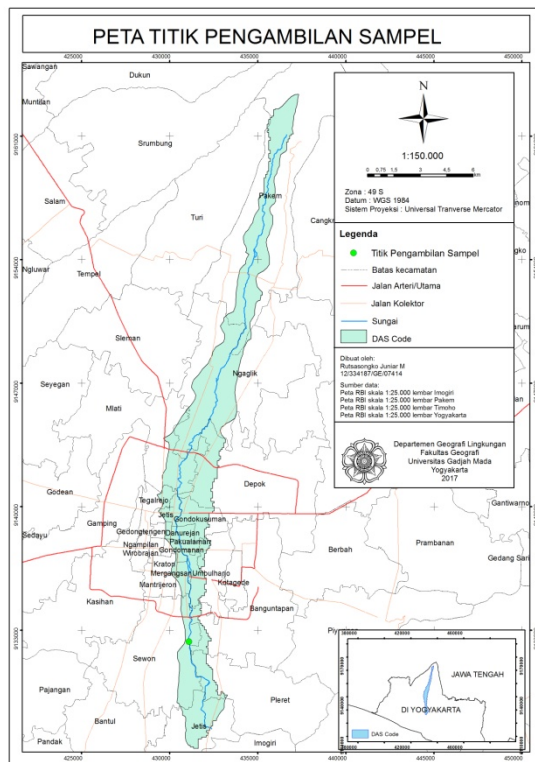
METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survey dan pengukuran di lapangan. Pengukuran meliputi pencatatan tinggi muka air sungai, pengukuran debit aliran dan pengambilan sampel suspensi pada aliran Sungai Code. Teknik *sampling* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Purposive sampling*, yakni melakukan pengukuran berdasarkan perubahan ketinggian muka air sungai yang terjadi.

Pengukuran dilakukan di bagian hilir Sungai Code, tepatnya pada Pos hidrologi Kaloran, Kabupaten Bantul. Peta lokasi pengambilan sampel ditunjukkan pada Gambar 1.

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini berupa data primer dan data

sekunder. Data primer meliputi data tinggi muka air sungai, debit sungai, kadar suspensi dan debit suspensi. Sedangkan data sekunder berupa data curah hujan bulanan stasiun-stasiun di DAS Code dan data debit harian Pos hidrologi Kaloran Sungai Code.



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel

Teknik analisis yang digunakan berupa matematik dan statistik. Data tinggi muka air dan debit dianalisis dengan menggunakan *rating curve*, sedangkan data kadar suspensi digunakan sebagai *input* untuk perhitungan debit suspensi. Selanjutnya dibuat lengkung sedimen dengan membuat grafik hubungan antara debit aliran dengan debit suspensinya.

Hubungan curah hujan dengan debit suspensi dianalisis dengan menggunakan grafik. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan wilayah DAS Code yang dianalisis dengan menggunakan metode isohyet. Analisis

dilakukan untuk mengetahui curah hujan wilayah setiap bulannya.

Perhitungan jumlah total muatan suspensi dalam satu tahun dilakukan dengan menggunakan data debit harian Pos Hidrologi Kaloran. Data tersebut dimasukkan ke dalam persamaan lengkung sedimen hasil pengukuran sehingga diketahui berapa besar debit muatan suspensi setiap harinya. Data suspensi harian dijumlahkan selama sebulan dan dirata-rata setiap bulannya sehingga jumlah total muatan suspensi dalam satu tahun dapat diketahui.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lengkung Aliran Sungai Code

Persamaan lengkung aliran digunakan untuk menganalisis hubungan antara tinggi muka air sungai dengan debit aliran sungai. Dalam melakukan analisis persamaan lengkung aliran, dibutuhkan dua variabel data, yaitu data debit aliran sungai dan data tinggi muka air sungai. Kedua variabel data tersebut didapatkan dari hasil pengukuran di lapangan.

Analisis lengkung aliran terdiri dari dua fase, yaitu fase saat kenaikan muka air dan fase saat penurunan muka air. Fase saat kenaikan muka air merupakan fase dimana terjadi kenaikan tinggi muka air sungai, sedangkan fase penurunan muka air merupakan fase dimana tinggi muka air sungai mengalami penurunan pasca kenaikan tinggi muka air sungai. Hal ini digunakan untuk melihat pola bagaimana pengaruhnya terhadap debit aliran dan debit suspensinya.

Gambar 2 menunjukkan grafik hubungan antara tinggi muka air dengan debit alirannya saat fase naik (a) dan fase turun (b). Hasil perhitungan menunjukkan

bahwa grafik dapat dinyatakan dengan persamaan berikut ini

Tabel 1. Hasil Analisis Lengkung Aliran

Analisis	Hidrograf naik	Hidrograf turun
Persamaan	$Q = 0,195 H^{0,508}$	$Q = 0,301 H^{0,218}$
Korelasi	0,991	0,965
R^2	0,954	0,958

Berdasarkan Tabel 1 hasil analisis hubungan antara tinggi muka air dengan debit aliran, maka diperoleh hasil yang berbeda pada saat fase hidrograf naik dan hidrograf turun. Perbedaan tampak pada persamaan yang dihasilkan, kekuatan korelasi antar variabel dan juga nilai determinan yang ada. Hal ini menjelaskan bahwa kenaikan muka air di Sungai Code memberikan gambaran besaran debit yang berbeda dengan fase saat terjadi penurunan muka air sungai.

Pada fase hidrograf naik, nilai korelasi yang didapatkan sangat tinggi, yakni 0,991. Artinya, terdapat hubungan yang sangat kuat antara tinggi muka air dengan debitnya. Nilai positif yang didapatkan menunjukkan hubungan berbanding lurus pada tinggi muka air dengan debitnya. Nilai determinan yang tinggi (0,954) juga memberikan gambaran bahwa pengaruh kenaikan muka air sungai terhadap debit aliran sangat tinggi.

Hal serupa juga digambarkan dari hasil analisis pada saat hidrograf turun. Nilai korelasi, dan determinan yang didapatkan sangat tinggi, yakni hampir mendekati 1. Selain itu, hubungan yang didapatkan juga positif, yakni ketika terjadi penurunan muka air sungai, maka debit aliran akan berkurang.

Proses kenaikan muka air sungai akan mengakibatkan terjadinya peningkatan luas penampang melintang yang selanjutnya meningkatkan volume air yang melewati suatu penampang.

Meningkatnya volume tentu akan meningkatkan debit aliran karena secara langsung, jumlah volume air yang melewati suatu penampang dalam waktu tertentu juga akan meningkat. Hal inilah yang menyebabkan nilai debit menjadi lebih tinggi saat terjadi kenaikan muka air sungai.

Proses yang sama juga terjadi saat terjadi penurunan tinggi muka air. Tinggi muka air yang turun akan menyebabkan volume aliran menjadi berkurang sehingga terjadi penurunan debit sungai. Pada titik muka air sungai terendah, debit aliran menjadi kecil. Peningkatan kembali volume aliran akan terjadi lagi apabila terdapat kenaikan muka air sungai. Kenaikan muka air sungai dapat terjadi apabila terdapat masukan dalam sistem DAS Code tersebut, seperti curah hujan.

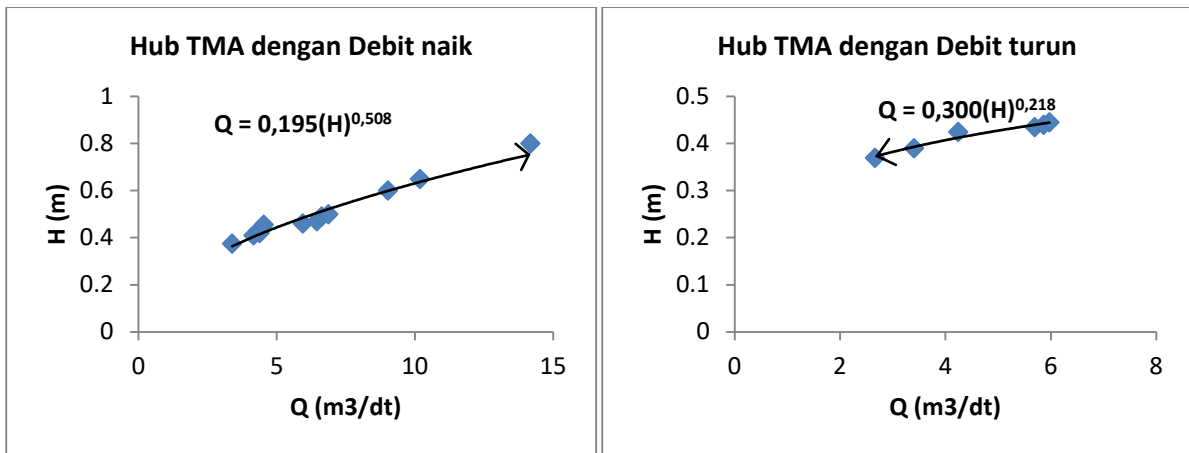
Lengkung Sedimen Sungai Code

Persamaan lengkung sedimen digunakan untuk menganalisis hubungan antara debit aliran dengan debit suspensi. Dalam melakukan analisis persamaan lengkung sedimen, dibutuhkan dua variabel data, yaitu data debit aliran sungai dan data debit suspensi. Kedua variabel data tersebut didapatkan dari hasil pengukuran di lapangan.

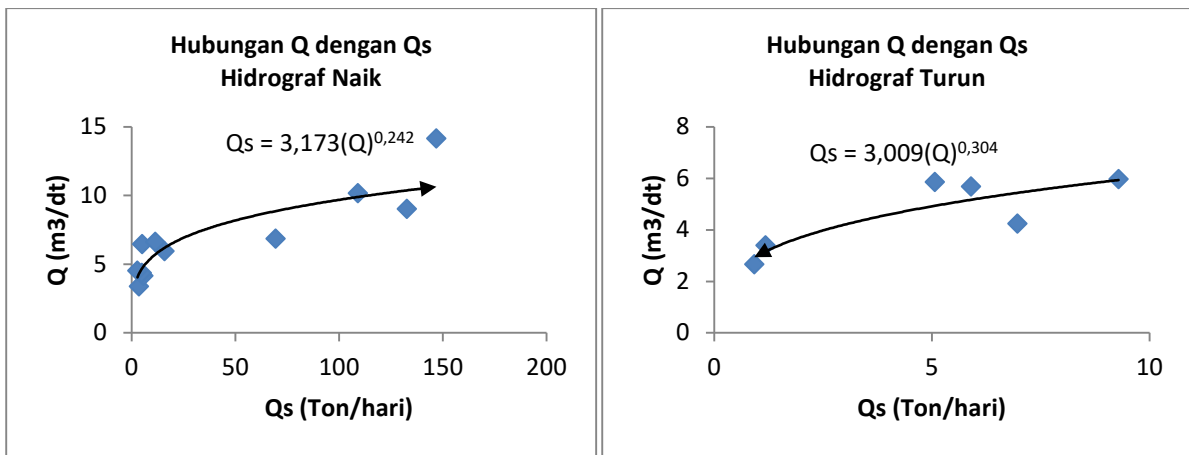
Gambar 3 menunjukkan grafik hubungan antara debit aliran dengan debit suspensinya. Grafik juga dibedakan menjadi dua fase, yakni saat fase kenaikan muka air sungai (hidrograf naik) dan fase saat terjadi penurunan muka air sungai (hidrograf turun). Hasil analisis tampak pada Tabel 2 di bawah ini:

Tabel 2 Hasil Analisis Lengkung Sedimen

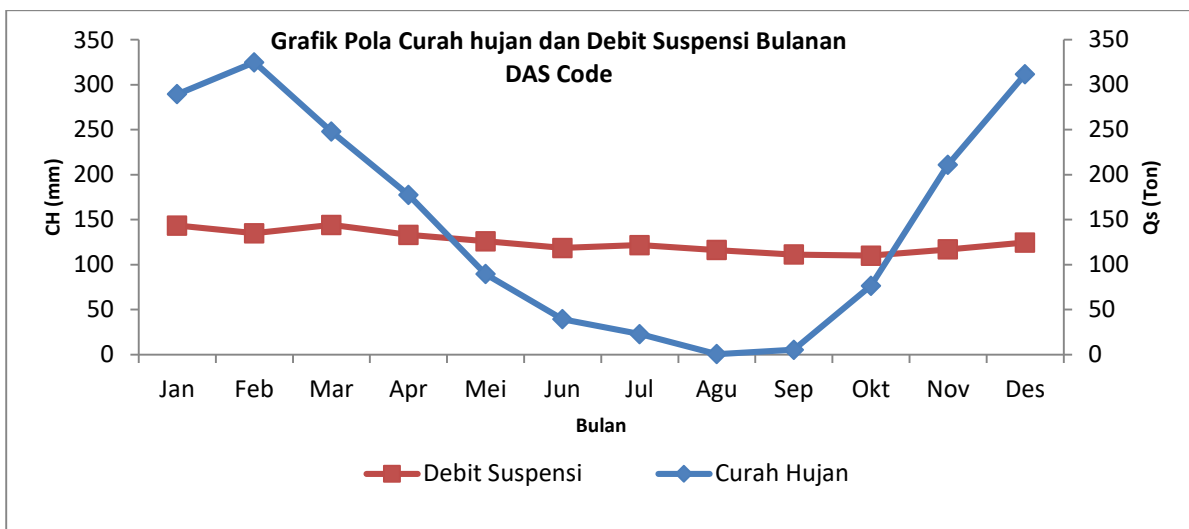
Analisis	Hidrograf naik	Hidrograf turun
Persamaan	$Q_s = 3,173 (Q)^{0,242}$	$Q_s = 3,020 (Q)^{0,300}$
Korelasi	0,9102	0,8062
R^2	0,786	0,794



Gambar 2. (a) Grafik hubungan tinggi muka air dengan debit saat fase naik dan (b) Grafik hubungan tinggi muka air dengan debit saat fase turun



Gambar 3. (a) Grafik hubungan debit aliran dengan debit suspensi saat fase naik dan (b) Grafik hubungan debit aliran dengan debit suspensi saat fase turun



Gambar 4. Grafik Pola Hubungan Curah Hujan dengan Debit Suspensi

Berdasarkan Tabel hasil analisis lengkung sedimen di atas, maka dapat diketahui bahwa terdapat korelasi yang kuat antara debit aliran dengan debit suspensi, terutama pada saat hidrograf naik. Hal ini dapat dilihat dari nilai korelasinya yang mencapai 0,9102 yang berarti sangat kuat. Hubungan antara dua variabel akan semakin kuat apabila nilai korelasinya mendekati atau sama dengan 1.

Perbedaan kekuatan korelasi saat hidrograf naik dan turun ini memberikan informasi bahwa ketika terjadi kenaikan tinggi muka air sungai, maka terjadi penambahan debit aliran sehingga debit yang ada mampu membawa sedimen suspensi dalam jumlah yang lebih banyak. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah aliran secara langsung dapat meningkatkan jumlah suspensi yang terangkut pada Sungai Code. Akan tetapi, hal ini berbeda dengan saat hidrograf turun.

Korelasi antara debit aliran dengan debit suspensi saat hidrograf turun tidak sekuat saat terjadi hidrograf naik. Ini memberikan petunjuk bahwa saat terjadi penurunan debit, jumlah suspensi yang terbawa aliran tidak langsung berkurang.

Hal ini terjadi karena pada aliran yang ada, jumlah suspensi yang terangkut dari hulu masih dalam jumlah yang besar, meskipun terjadi penurunan debit. Proses inilah yang mengakibatkan debit yang turun saat terjadi penurunan grafik hidrograf masih membawa suspensi yang tinggi karena aliran yang berada di hulu masih membawa suspensi dalam jumlah yang besar.

Hubungan Curah Hujan dengan Debit Suspensi

Curah hujan merupakan suatu masukan dalam DAS yang menjadi proses

awal berlangsungnya siklus hidrologi. Masuknya curah hujan memberikan tambahan air yang selanjutnya akan direspon oleh DAS untuk menghasilkan keluaran yang sesuai dengan kondisi DASnya. Curah hujan juga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya jumlah muatan suspensi yang terangkut oleh aliran sungai.

Analisis hubungan curah hujan dengan debit suspensi diawali dengan mengetahui curah hujan wilayah dalam DAS Code. Data curah hujan bulanan dari stasiun pengukur hujan di area DAS Code dan sekitarnya digunakan untuk mengetahui besarnya curah hujan wilayah di DAS Code. Stasiun pengukur curah hujan yang digunakan antara lain Stasiun Kempud, Bronggang, Prumpung, Gemawang, Santan, Nyemengan dan Bedugan. Metode yang digunakan adalah dengan metode isohyet, dimana curah hujan yang memiliki besaran yang sama akan terhubung dalam satu garis.

Perhitungan curah hujan wilayah dilakukan berdasarkan data curah hujan bulanan. Data yang digunakan adalah data curah hujan bulanan dari 7 stasiun selama 15 tahun (2000-2015). Nilai curah hujan bulanan setiap stasiun tersebut diinterpolasi sehingga didapatkan nilai curah hujan bulanan DAS Code dari Bulan Januari hingga Desember.

Analisis debit suspensi juga dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai suspensi rata-rata setiap bulan di DAS Code. Data yang dibutuhkan antara lain adalah *rating curve* hasil pengukuran di lapangan dan data sekunder berupa debit harian Pos hidrologi Kaloran di Sungai Code dari tahun 2001-2006 dan 2010-2015.

Pembuatan *rating curve* digunakan untuk mengetahui lengkung sedimen dari

Sungai Code. Data hasil pengukuran dinyatakan dalam Grafik 2 dan 3 pada pembahasan sebelumnya. Nilai debit harian yang didapatkan dari data sekunder selanjutnya dimasukkan ke dalam persamaan lengkung sedimen sehingga didapatkan nilai debit suspensi rata-rata bulanan pada periode tahun tersebut.

Analisis hubungan curah hujan dengan debit suspensi dilakukan dengan menggunakan grafik hasil perhitungan curah hujan dan debit suspensi bulanan di DAS Code. Hasilnya tampak pada Gambar 4

Berdasarkan grafik hubungan antara curah hujan dengan debit suspensi (Gambar 4), tampak bahwa curah hujan dan debit suspensi memiliki pola yang berbeda. Curah hujan yang berperan sebagai masukan air pada suatu DAS memiliki kecenderungan yang sama terhadap pola musimnya, yakni mencapai titik maksimum pada musim penghujan dan mencapai titik minimum pada musim kemarau. Artinya, terdapat perubahan curah hujan yang signifikan pada setiap bulan akibat pengaruh keberadaan musim penghujan dan kemarau di Indonesia.

Pola debit suspensi memberikan keterangan yang berbeda dengan pola curah hujannya. Debit suspensi cenderung memiliki nilai yang relatif tetap sepanjang tahun. Tidak ada perubahan yang signifikan dari grafik debit suspensi di setiap bulannya. Fluktuasi yang terjadi juga tidak terlalu besar, akan tetapi dapat digunakan untuk menjelaskan bagaimana mekanisme pengangkutan muatan suspensi yang terjadi di Sungai Code ini.

Pada awal musim penghujan (September-Oktober), nilai curah hujan akan meningkat karena terdapat kenaikan intensitas hujan dari bulan-bulan sebelumnya sekaligus menandai perubahan

musim dari kemarau ke penghujan. Akan tetapi, grafik debit suspensi tidak mengalami kenaikan. Ini memberikan informasi bahwa ketika terjadi awal musim penghujan, material sedimen suspensi masih belum cukup kuat untuk terangkut oleh aliran. Kebanyakan masih mengendap di hulu atau di dasar sungai dan belum terdapat aliran yang cukup kuat untuk melepaskannya dari tempat semula sehingga hal inilah yang menyebabkan endapan sedimen belum banyak terangkut.

Pada bulan-bulan berikutnya di musim penghujan, debit suspensi pada akhirnya meningkat mengikuti pola peningkatan curah hujan yang terjadi. Curah hujan yang semakin besar menyebabkan endapan sedimen terlepas dari agregat atau tempat semula sehingga mulai terbawa aliran menuju hilir dan mengalami transportasi sedimen secara tersuspensi. Akan tetapi, perubahan debit suspensi tidak terlalu signifikan. Dari grafik yang ada, tampak bahwa tidak ada lonjakan jumlah sedimen seiring dengan peningkatan curah hujan.

Pada saat memasuki musim kemarau, tampak bahwa curah hujan perlahan mengalami penurunan dan mencapai titik minimal pada Bulan Agustus dan September sebagai puncak musim kemarau. Akan tetapi, nilai debit suspensi tidak mengalami penurunan yang signifikan. Penurunan terjadi setelah puncak musim hujan selesai (Bulan Maret), namun tetap dengan muatan suspensi yang relatif tetap. Hal ini mengindikasikan adanya faktor lain yang mempengaruhi jumlah muatan suspensi yang terangkut melalui Sungai Code.

Nilai determinan yang diperoleh dari Tabel 2 memberikan informasi tambahan bahwa keberadaan debit aliran tidak memiliki pengaruh yang signifikan

pada debit suspensi yang ada. Dengan determinansi hanya sekitar 0,7 berarti menunjukkan bahwa debit tidak memiliki pengaruh yang kuat terhadap debit suspensi yang juga dapat diartikan bahwa keberadaan curah hujan bukan satu-satunya faktor yang mempengaruhi jumlah muatan suspensi di DAS Code.

Faktor pertama yang dapat terjadi adalah adanya faktor luar yang mempengaruhi muatan suspensi di Sungai Code antara lain tipe sungai dan penggunaan lahan. Tipe sungai berkaitan dengan kondisi aliran dimana ada fase tertentu yang dapat mempengaruhi besar kecilnya muatan suspensi. Sedangkan penggunaan lahan berkaitan dengan sistem DAS yang akan memberikan informasi mengenai asal material sedimen.

Tipe aliran Sungai Code adalah episodik, dimana alirannya mengalir sepanjang tahun baik pada musim hujan maupun pada musim kemarau. Akan tetapi, jumlah aliran pada musim penghujan cenderung lebih banyak daripada saat kemarau. Ini memberikan petunjuk bahwa keberadaan aliran akan terus membawa sedimen dalam jumlah yang tetap selama alirannya juga bersifat tetap. Hal ini yang menyebabkan bahwa sedimen suspensi masih berada pada kondisi yang relatif tinggi di musim kemarau. Walaupun curah hujan sudah mencapai titik minimal, namun suspensi masih tetap ada karena adanya aliran yang relatif tetap.

Jumlah Muatan Suspensi Sungai Code

Jumlah muatan suspensi Sungai Code diketahui dengan menjumlahkan jumlah suspensi rerata bulanan yang telah diketahui sebelumnya. Dengan menjumlahkan rerata bulanan suspensi yang ada, maka total muatan suspensi

Sungai Code dalam satu tahun rata-rata dapat diketahui. Tabel 3 menunjukkan besarnya muatan suspensi rata-rata Sungai Code dalam satu tahun.

Tabel 3. Perhitungan Jumlah Sedimen Suspensi Rata-rata Bulanan Sungai Code

Bulan	Debit suspensi (ton/bulan)
Januari	143,49
Februari	134,85
Maret	144,11
April	133,05
Mei	126,02
Juni	118,49
Juli	121,65
Agustus	116,14
September	111,30
Oktober	109,91
November	116,93
Desember	124,55
Total	1500,49 Ton/tahun

Hasil analisis dan perhitungan jumlah sedimen suspensi Sungai Code pada Tabel 3 menunjukkan bahwa total suspensi yang dihasilkan oleh Sungai Code selama satu tahun rata-rata mencapai 1500,49 ton/tahun. Jumlah sedimen paling banyak terangkut pada Bulan Januari dan Maret, sedangkan jumlah paling sedikit yaitu pada Bulan September dan Oktober. Pola fluktuasi yang dihasilkan dari nilai suspensi setiap bulan menunjukkan bahwa debit aliran dan curah hujan yang terjadi di DAS Code bukanlah faktor terbesar yang mempengaruhi besarnya muatan suspensi. Hal ini dapat dilihat pada bahasan sub bab sebelumnya dimana nilai determinansi yang kecil dan pola grafik curah hujan dengan debit suspensi bulanan tidak sesuai dengan asumsi yang ada. Artinya, ada faktor lain yang mempengaruhi besarnya muatan suspensi di DAS Code ini.

Selain itu, pengukuran sesaat yang dilakukan selama periode Desember 2016 hingga Maret 2017 untuk data debit dan debit suspensi yang diperoleh masih kurang banyak apabila digunakan untuk menghitung jumlah suspensi rata-rata tahunan. Akan tetapi, hasil ini dapat memberikan gambaran bagaimana pengaruh faktor debit dengan curah hujan di DAS Code terhadap muatan suspensi yang ada. Juga dapat digunakan untuk memberikan gambaran singkat seberapa besar nilai sedimen suspensi yang terangkut pada aliran Sungai Code dalam satu tahun rata-rata.

KESIMPULAN

1. Hubungan debit aliran dengan debit muatan suspensi di Sungai Code memiliki koefisien korelasi yang cukup kuat terutama pada saat hidrograf naik (0,9102). Sedangkan saat hidrograf turun 0,8062. Nilai determinansi menunjukkan bahwa debit aliran tidak mempengaruhi secara langsung besarnya debit suspensi
2. Hubungan curah hujan wilayah dengan besaran debit muatan suspensi DAS Code cenderung tidak berkaitan secara langsung. Terdapat faktor lain yang mempengaruhi besarnya debit suspensi, terutama tipe aliran sungai.
3. Jumlah total muatan sedimen suspensi Sungai Code dalam satu tahun adalah 1500,49 ton/tahun

DAFTAR PUSTAKA

Hati, R.M.K., (2014). Kajian Sedimen Transport dan Perubahan Morfologi Sungai Opak Pasca Erupsi Gunungapi Merapi Tahun 2010. *Skripsi*.

Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada

Leopold, L.B., Wolman, M.G., & Miller, J.P. (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology*. New Delhi: Eurasia Publishing House, Ltd.

Prajoto, G.R., (2013). Kajian Sedimen Transpor DAS Krasak Pasca Erupsi Gunungapi Merapi 2010. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada

Soewarno. (1991). *Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai*. Bandung: Penerbit Nova.

Verstappen, H. (2013). *Garis Besar Geomorfologi Indonesia (Diterjemahkan oleh Sutikno)*. Yogyakarta: Gadjah Mada Universiti Press

